

# ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR BIOMASA Y CARBONO EN PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* Jacq.) EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE CHIAPAS, MÉXICO

## ALOMETRIC EQUATIONS FOR ESTIMATING BIOMASS AND CARBON IN OIL PALM (*Elaeis guineensis* Jacq.) IN THE HUMID TROPIC OF CHIAPAS, MEXICO

Gilberto Ramos-Escalante<sup>1</sup>, Alejandro Ley de-Coss<sup>2\*</sup>, Concepción Arce-Espino<sup>2</sup>, José C. Escobar-España<sup>3</sup>, Deb Raj-Aryal<sup>2</sup>, René Pinto-Ruiz<sup>2</sup>, Francisco Guevara-Hernández<sup>2</sup>, Cándido E. Guerra-Medina<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas Campus IV, Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH).

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V, UNACH, Villaflores, Chiapas, México. (aleycoss@gmail.com). <sup>3</sup>Ganadería. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. <sup>4</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Rosario Izapa.

### RESUMEN

El estado de Chiapas, México, posee potencial agroclimático y edáfico para cultivar palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). En la actualidad hay alrededor de 48 mil ha plantadas con esta especie, lo que representa un sumidero importante de carbono (C). El objetivo de esta investigación fue medir la biomasa y el C acumulado en plantas de palma de 12 años para generar la línea base y la metodología que permita predecir la fijación de C para este cultivo. Un muestreo destructivo, aleatorizado, se realizó en cuatro plantas por sitio. En tres submuestras de tallo y hojas se evaluó la biomasa, el diámetro a la altura de pecho (DAP), la altura total y el número de hojas por planta también se midieron. En 20 submuestras de suelo se determinó la biomasa de la raíz. El contenido de C se estimó con la técnica de digestión húmeda de Walkley y Black. Con los datos se generaron dos ecuaciones alométricas para calcular la biomasa y un modelo matemático en su expresión lineal para el C, en el cual Y es el contenido de biomasa o C y X es la altura de la planta. La concentración de C en fuste, ramas y raíz fue 48.3, 48.1 y 48.2 %. La concentración promedio de C por planta fue 48.24 %. Con la biomasa y la altura de las plantas se obtuvo el modelo  $Y=98.349X + 737.41$  ( $R^2=0.577$ ). Para establecer las variables del modelo predictivo de C acumulado por palma (CAP), en función de su altura, se usó un procedimiento idéntico al anterior, y  $CAP=55.15X + 326.96$  ( $R^2=0.519$ ). Un número mayor de variables de campo es necesario para obte-

### ABSTRACT

The state of Chiapas, Mexico, has the climatic and soil potential for cultivation of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). Currently, around 48 000 ha are planted with this species, representing a major carbon (C) sink. The objective of this study was to measure biomass and accumulated C in 12-year-old palms to generate the base line and methodology to permit predicting C fixation for this crop. Randomized destructive sampling was conducted on four plants per site. In three subsamples of stem and leaves, biomass, diameter at breast height (DBH), total height and number of leaves per plant were determined. In 20 subsamples of soil, root biomass was determined. Carbon content was estimated with the wet digestion technique of Walkley and Black. With the data, two allometric equations were generated to calculate biomass and a mathematical model in its linear expression for C, in which Y is the content of biomass or C, and X is the plant height. The concentration of C in stem, branches and root was 48.3, 48.1 and 48.2 %. The average C concentration per plant was 48.24 %. With the biomass and plant height, the model  $Y=98.349X + 737.41$  ( $R^2=0.577$ ) was obtained. To establish the variables of the predictive model of accumulated C per palm (CAP) in function of height, a procedure identical to the previous procedure was used, and  $CAP=55.15X + 326.96$  ( $R^2=0.519$ ). A larger number of field variables is necessary to obtain acceptable allometric equations (higher  $R^2$ ) for prediction of biomass and palm C stock. The methodology permitted determining biomass and C accumulated in the oil palm, thus establishing the bases for its study.

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: marzo, 2017. Aprobado: julio, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 52: 671-683. 2018.

**ner ecuaciones alométricas aceptables ( $R^2$  mayores), para predecir biomasa y C almacenado en la palma. La metodología permitió determinar la biomasa y C acumulado en palma de aceite, estableciendo así la base para su estudio.**

**Palabras clave:** *Elaeis guineensis* Jacq., ecuaciones alométricas, gases de efecto invernadero, sumidero de carbono.

## INTRODUCCIÓN

Los informes de diagnóstico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en Inglés) indican que América Latina y el Caribe, como otras regiones del mundo, son vulnerables a los efectos adversos del cambio climático (CC) y contribuyen con 12 % de las emisiones mundiales de los gases con efecto invernadero (GEI)<sup>5</sup>. La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera aumentó debido al uso de combustibles fósiles, ya que pasó de 280 ppm en la era preindustrial a 402 ppm en el 2016 (Prentice *et al.*, 2001; NOAA, 2016). El CO<sub>2</sub> es el principal generador del efecto invernadero que ha modificado directamente la temperatura global. En 2004 el aumento fue 0.54 °C y ese año está considerado como el más caluroso en la historia (Smith *et al.*, 2005).

Con el aumento de la demanda de energía en los procesos industriales y desarrollo urbano, áreas extensas de bosques y selvas se destinan a la agricultura, por lo cual se buscan alternativas de producción agropecuaria con emisiones bajas de C, o que fijen en su biomasa el C del CO<sub>2</sub>. Esto demanda políticas públicas y sistemas de producción agrícola sostenida con potencial alto para fijar C, mitigar y adaptarse al CC y generar energía sostenible y renovable (Pacheco *et al.*, 2007).

La deforestación mundial anual provoca la liberación de  $1.8 \times 10^{12}$  Mg de C, cifra equivalente a 20 % del total de las emisiones antropogénicas. La vegetación asimila CO<sub>2</sub> atmosférico vía fotosíntesis, con lo que acumula carbohidratos y aumenta el volumen de la biomasa. Los bosques capturan y conservan más C que los cultivos anuales y los pastizales participan con 90 % de flujo anual de C de la atmósfera y de la superficie de la tierra (Dermer y Schuman, 2007; Follett y Reed, 2010).

**Key words:** *Elaeis guineensis* Jacq., allometric equations, greenhouse effect gasses, carbon sink.

## INTRODUCTION

The diagnostic reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicate that Latin America and the Caribbean, like other regions of the world, are vulnerable to adverse effects of climate change (CC) and contribute 12 % of the world emissions of greenhouse effect gases (GEI)<sup>5</sup>. The concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere has increased because of the use of fossil fuels, passing from 280 ppm in the preindustrial era to 402 ppm in 2016 (Prentice *et al.*, 2001; NOAA, 2016). CO<sub>2</sub> is the main cause of the greenhouse effect, which has directly modified global temperature. In 2004, the increase was 0.54 °C; that year was considered the hottest in history (Smith *et al.*, 2005).

Together with the increase in the demand for energy by industrial processes and urban development, extended areas of forest and jungles are being converted to agriculture. For this reason, alternatives are being sought for agricultural and livestock production with low C emissions or for fixation of the C of CO<sub>2</sub> in crop biomass. This demands public policies and sustained agricultural production systems with high potential for fixing C, mitigating and adapting to CC and generating sustainable renewable energy (Pacheco *et al.*, 2007).

Annual world deforestation causes the release of  $1.8 \times 10^{12}$  Mg of C, equivalent to 20 % of the total of anthropogenic emissions. Vegetation assimilates atmospheric CO<sub>2</sub> via photosynthesis by which it accumulates carbohydrates and increases biomass volume. Forests capture and preserve more C than annual crops, and grasslands participate with 90 % of the annual C flow between the atmosphere and the earth's surface (Dermer and Schuman, 2007; Follett and Reed, 2010).

The cultivation of oil palm (*E. guineensis* Jacq.) under the agroecological and edaphic conditions of Central America and Asia has the potential to accumulate 96.02 and 103.35 Mg C ha<sup>-1</sup> C in shoot biomass (Leblanc *et al.*, 2006). To estimate C sequester by the palm in the study area, an

<sup>5</sup>Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies. Informe de la reunión de expertos del IPCC celebrada del 19 al 21 de septiembre de 2007 en Noordwijkerhout (Países Bajos), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Suiza. 132 p.

El cultivo de palma de aceite (*E. guineensis* Jacq.) en condiciones agroecológicas y edáficas de Centroamérica y Asia tiene potencial de acumulación de C de 96.02 y 103.35 Mg C ha<sup>-1</sup> en las raíces en profundidades de 0 a 30 cm y de 0 a 50 cm, respectivamente, y 22.68 Mg C ha<sup>-1</sup> en la biomasa aérea (Leblanc *et al.*, 2006). Para estimar la captura de C de la palma en el área de estudio se inventarió este elemento; es decir, se obtuvo el equivalente a una “fotografía” del estado actual o cantidad de C en la biomasa aérea y en el suelo (Andrade *et al.*, 2008). El potencial de pérdida o secuestro de C se considera que es el promedio de este elemento almacenado en cualquier momento en el sistema palma, en su ciclo de vida (Hairiah *et al.*, 2011).

El almacenamiento de C se define como el proceso acumulativo de este elemento en los tejidos con el crecimiento de la planta, y que permanece *in situ* o transformado en productos que no se liberan rápidamente a la atmósfera. Por lo tanto, la captura de C es resultado de procesos dinámicos de descomposición y de flujos generados en la fotosíntesis durante un período largo (Castilla, 2004). Sin embargo, los reservorios de C en los sistemas agrícolas y agroforestales no están considerados entre los mecanismos de mitigación del CC. Aquí radica la necesidad de generar información respecto a la capacidad de fijación de C en especies cultivadas, como la palma de aceite, mediante ecuaciones alométricas de predicción del potencial de captura de este elemento. El objetivo de esta investigación fue diseñar una metodología base para estimar la captación de C en las fracciones aéreas y subterráneas de la palma de aceite en la región del Soconusco, Chiapas, México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio y origen del material vegetal

El estudio se realizó en muestras de plantas de palma de aceite recolectadas en: 1) Tapachula de Córdoba (14° 45' 29.31" N, 92° 32' 16.35" W; altitud de 17 m); 2) Huehuetán (14° 58' 52.20" N, 92° 28' 30.35" W; altitud de 18 m); y 3) Villa Comaltitlán (15° 06' 54.70" N, 92° 37' 42.94" W; altitud de 10 m) de la región del Soconusco, Chiapas.

### Muestreo de la parte aérea

De la biomasa producida en la estructura sobre el suelo se cosecharon 12 plantas, con edad superior a 12 años. El corte

inventory of C was taken; that is, we obtained a “photograph” equivalent of the current state or quantity of C in shoot biomass and in soil (Andrade *et al.*, 2008). The potential of loss or sequester of C is considered to be the average of this element stored at any moment in the palm system, during its life cycle (Hairiah *et al.*, 2011).

Carbon stocking is defined as the process of accumulating C in tissues of the growing plant that remains *in situ* or is transformed into products that do not release it rapidly into the atmosphere. Thus, C sequester is the result of dynamic processes of decomposition and flows generated by photosynthesis over a long time (Castilla, 2004). However, C stocks in agricultural and agroforestry systems are not considered among the mechanisms of CC mitigation. Here lies the need to generate information relative to the capacity of C fixation in cultivated species, such as the oil palm, using allometric equations to predict their potential for C sequester. The objective of this study was to design a base methodology to estimate C captured in the shoot and root fractions of the oil palm in the Soconusco region, Chiapas, Mexico.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area and plant material

The study was conducted with samples of oil palm plants collected in 1) Tapachula de Córdoba (14° 45' 29.31" N, 92° 32' 16.35" W; altitude 17 m), 2) Huehuetán (14° 58' 52.20" N, 92° 28' 30.35" W; altitude 18 m), and 3) Villa Comaltitlán (15° 06' 54.70" N, 92° 37' 42.94" W; altitude 10 m) Soconusco region, Chiapas.

### Shoot sampling

The aboveground biomass was collected from 12 plants of more than 12 years old. Plants were cut with a chainsaw (Truper, Mod. Mot-4518; China) where the stipe begins, and the stem separates from the leaves. The stems were measured for total height (Ht) and diameter and breast height (DBH: 1.30 m) with a metric measuring tape (Truper, model Tp20ME de 20 m; China). Each stem was divided into three or more sections to determine fresh weight *in situ* with an electronic platform scale (OHAUS; Mod. ES50L AM, 50 kg capacity; USA). Volume of biomass was calculated with the truncated cone geometric formula. The lower and upper diameters of each section were measured. Sections 10 cm thick were cut with the chainsaw and dry weight was determined in three subsamples. All the sections

se hizo con una motosierra (Truper, Mod. Mot-4518; China) donde inicia el estípote, y el tronco (fuste) se separó de las hojas. En los fustes se midió altura total (At) y diámetro a la altura de pecho (DAP: 1.30 m) con cinta métrica (Truper, modelo Tp-20ME de 20 m; China). Cada fuste se dividió en tres o más secciones para determinar el peso verde *in situ* con una báscula electrónica de plataforma (OHAUS; Mod. ES50L AM, capacidad de 50 kg; EUA). El volumen de biomasa se calculó con la fórmula geométrica del cono truncado. El diámetro inferior y superior de cada sección se midieron. Rodajas de 10 cm de grosor se separaron con la motosierra y el peso seco se determinó en tres submuestras. Todas las rodajas se obtuvieron de la altura donde se determinó el diámetro inferior del fuste. La biomasa de las hojas, de la zona media y baja de cada planta, se determinó con báscula electrónica de plataforma, en cuatro hojas, una por punto cardinal, y la hoja bandera. Las submuestras de tallo y hojas se pesaron enseguida del corte para determinar su peso en húmedo, se guardaron en bolsas plásticas y se trasladaron al laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV, en Huehuetán, Chiapas. Las muestras se secaron hasta peso constante en una estufa con circulación de aire (VWR international, Mod. 1390FM, Sheldon Manufacturing, Inc. EUA) por 96 h a 60 °C. La relación peso seco: peso fresco se usó como estimador de la cantidad de biomasa del fuste y de las ramas, en muestras y submuestras, según la técnica descrita por Díaz-Franco *et al.* (2007) y Acosta *et al.* (2002).

### Muestreo de raíz

El C de las raíces de la palma y el C almacenado en el suelo se cuantificó por humificación de la biomasa. El segundo se obtuvo en 20 muestras representativas del área de goteo, con diámetro aproximado de 4.5 m de la base del tallo, que se obtuvieron con una barrena de acero inoxidable (sin marca, con diámetro y longitud de 10 y 50 cm). El C almacenado en el suelo (CAS; Mg ha<sup>-1</sup>) se cuantificó en 20 submuestras de suelo por planta, a partir de su contenido en el suelo (% CS), la densidad aparente (DA) y la profundidad (P) de muestreo (0 a 50 cm), con la siguiente relación: CAS = % CS\*DA\*P (Ávila *et al.*, 2001). Para esta estimación se utilizó la técnica reportada por Leblanc *et al.* (2006), modificada porque la DA del suelo se determinó en 3927 cm<sup>3</sup> de una muestra (extraída con barrena de acero inoxidable). De cada muestra se separaron las raíces; CAS y C en las raíces se determinaron con el método de combustión húmeda de Walkley y Black modificada (Kaurichev *et al.*, 1984; Schlichting *et al.*, 1995).

La biomasa total (Y) por planta fue la suma de biomásas de fuste, hojas y raíz; en el tallo, se determinó con la fórmula: Y = Volumen (V) x Densidad (D), porque la forma del tallo es cónica irregular y el diámetro de la base es mayor que el superior.

were obtained from the height where the lower stem diameter was determined. Leaf biomass was determined in four leaves, one per cardinal point, with an electronic platform scale. The stem and leaf subsamples were weighed immediately after cutting to determine fresh weight, placed in plastic bags and taken to the biotechnology laboratory of the Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV, Huehuetán, Chiapas. The samples were dried to constant weight in a circulating air oven (VWR international, Mod. 1390FM, Sheldon Manufacturing, Inc. USA) for 96 h at 60 °C. The ratio dry weight: fresh weight was used as the estimator of the amount of biomass of the stem and branches in samples and subsamples using the technique described by Díaz-Franco *et al.* (2007) and Acosta *et al.* (2002).

### Root sampling

Carbon in the palm roots and C stored in the soil was quantified by humification of the biomass. The latter was obtained in 20 samples representative of the approximately 4.5 m diameter drip area at the stem base with a stainless steel drill (no brand name, 10 cm diameter, 50 cm long). Carbon stored in the soil (CSS; Mg ha<sup>-1</sup>) was quantified in 20 soil subsamples per plant using soil content (% CS), bulk density (BD) and depth (D) of sampling (1 to 50 cm), with the following relation: CSS = % CS\*BD\*D (Ávila *et al.*, 2001). For this estimation, the technique used was that reported by Leblanc *et al.* (2006), modified because soil BD was determined at 3927 cm<sup>3</sup> in a sample (extracted with a stainless steel drill). Of each sample, roots were separated; CSS and C in roots were determined with the modified wet combustion method of Walkley and Black (Kaurichev *et al.*, 1984; Schlichting *et al.*, 1995).

Total biomass (Y) per plant was the sum of biomass from stem, leaves and root. In stem, it was determined with the formula Y = Volume (V) x Density (D) because the stem shape is conical and irregular, and the diameter of the base is larger than the upper diameter. The volume of each section and total volume was calculated with the above equation. Brown (2001) indicated that the biomass of the leaves accounts for 65 % of the stem weight. This relationship was used to estimate sample biomass and the total leaf biomass. To corroborate this value, V and D of the five leaves of each plant were determined after they were completely shredded and weighed. With this information, values of the leaves per plant were calculated.

### Determination of specific density

Specific density (g cm<sup>-3</sup>) of stems, roots, soil, subsamples of stem sections and leaves was determined with the ratio dry weight: volume of fresh tissue. Dry weight was obtained with the

El volumen de cada sección y el total se calculó con la igualdad anterior. Brown (2001) indicó que la biomasa de las hojas representa 65 % del peso del tallo, y esta relación se usó para estimar la biomasa de la muestra y total de hojas. Para corroborar este valor V y D de las cinco hojas de cada planta se determinó después de triturarlas totalmente y pesarlas; con la información se calcularon los valores de las hojas por planta.

#### Determinación de la densidad específica

La densidad específica ( $\text{g cm}^{-3}$ ) de tallos, raíces, suelo, submuestras de rodajas de tallos y hojas se determinó con la relación peso seco: volumen de tejido verde. El peso seco se obtuvo con la metodología descrita en párrafos anteriores y el volumen del tejido verde se determinó por el método de desplazamiento de agua. La densidad específica de rodajas, hojas y raíces se compararon con la prueba de Tukey (SAS Institute Inc., 2009). La suma total de la biomasa de fuste ( $Y_f$ ), copa ( $Y_c$ ) y raíces ( $Y_r$ ) conformó la biomasa total ( $Y$ ),  $Y = Y_f + Y_c + Y_r$  de cada planta (Acosta *et al.*, 2002).

#### Determinación del modelo alométrico

La biomasa promedio de las plantas de los sitios se analizó en conjunto, con una ecuación que permitiera interpretar el desarrollo de la planta. Para esto, una prueba de regresión simple se desarrolló según Aquino-Ramírez *et al.* (2015); en ella se incluye un análisis de regresión lineal con variables indicadoras, en este caso biomasa, cantidad de C y DAP. Con los datos de biomasa total ( $Y$ ) y altura total ( $X$ ) se ajustó la ecuación lineal a partir de expresión potencial. El modelo se ajustó por mínimos cuadrados y se obtuvo la ordenada al origen ( $b$ ) y la pendiente ( $k$ ) de acuerdo con Avendaño *et al.* (2009) y Acosta *et al.* (2002). El modelo resultante fue  $Y = bX^k$  (ecuación potencial), donde  $Y$  es la biomasa total,  $X$  es el diámetro normal, y  $b$  y  $k$  son los parámetros de la función. La ecuación se ajustó a una expresión lineal mediante la transformación a logaritmo natural de  $Y$  y  $X$ , por lo que la expresión de la ecuación en su forma lineal fue:  $\ln(Y) = \ln(b) + k \ln(X)$  (Ec. 2), donde  $b$  y  $k$  son los parámetros a estimar.

#### Determinación del contenido de C

La cantidad de C en la biomasa de fuste, hojas y raíces se determinó por el método de combustión húmeda de Walkley y Black modificado que se basa en la oxidación incompleta del C, con una mezcla oxidante de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y calor por dilución acuosa del ácido. La ebullición entre 110 y 130 °C depende de la temperatura inicial, contenido de materia orgánica y tamaño del recipiente de reacción. La cantidad consumida de agente

methodology described above, and the volume of fresh tissue was determined by the method of water displacement. Specific density of sections, leaves and roots were compared with the Tukey test (SAS Institute Inc., 2009). The total sum of stem ( $Y_f$ ), canopy ( $Y_c$ ), and root ( $Y_r$ ) biomass was the total biomass ( $Y$ ),  $Y = Y_f + Y_c + Y_r$  of each plant (Acosta *et al.*, 2002).

#### Determination of the allometric model

Average biomass of plants of the sites were analyzed together with an equation that would permit interpretation of plant development. To this end, a simple regression test was conducted following Aquino-Ramírez *et al.* (2015). A linear regression analysis was included with indicator variables, in this, case biomass, amount of C and DBH. With the data of total biomass ( $Y$ ) and total height ( $X$ ), the linear equation was fit from the potential expression. The model was fit by minimum squares, and the order to origin ( $b$ ) and slope ( $k$ ) were obtained according to Avendaño *et al.* (2009) and Acosta *et al.* (2002). The resulting model was  $Y = bX^k$  (potential equation), where  $Y$  is total biomass,  $X$  is the diameter at breast height, and  $b$  and  $k$  are the function parameters. The equation was fit to a linear expression by transformation to natural logarithm of  $Y$  and  $X$ ; thus, the expression of the equation in its linear form was  $\ln(Y) = \ln(b) + k \ln(X)$  (Eq. 2) where  $b$  and  $k$  are the parameters to be estimated.

#### Determination of carbon content

The amount of C in stem, leaf and root biomass was determined by the modified Walkley and Black wet combustion method, based on incomplete oxidation of C, with an oxidizing mixture of  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  and heat by aqueous acid dilution. Boiling between 110 and 130 °C depends on initial temperature, organic matter content and size of the reaction recipient. The amount of oxidizing agent consumed in the reaction was determined by spectrophotometry (spectrophotometer METASH, Mod. UV-6000, China), by measuring initial intensity of green  $\text{Cr}^{+3}$  and yellow  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ions, and a sucrose calibration curve. In the reaction, the  $\text{Cr}^{+3}$  ions are proportional to the amount of oxidized C, according to the reaction:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 4 \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 16 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 4 \text{K}_2\text{SO}_4 + 4 \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 6 \text{CO}_2 + 22 \text{H}_2\text{O}$ .

Five mL of  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  and 10 mL sulfuric acid were added to 0.02 g dry sample; it was left to cool for 30 min and 35 mL distilled water was added. The mixture was shaken after each addition and left to stand overnight. Absorbance was measured at 590 nm. The total content of each sample was multiplied by the percentage of C obtained by spectrophotometry and by the sample biomass; the total C content per plant would be the sum

oxidante en la reacción se determinó por espectrofotometría (espectrofotómetro METASH, Mod. UV-6000, China), con la medición de la intensidad inicial del color verde de los iones  $\text{Cr}^{+3}$  y amarillos del  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  y una curva de calibración de sacarosa. En la reacción, los iones  $\text{Cr}^{+3}$  son proporcionales a la cantidad de C oxidado, de acuerdo con la reacción:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 4 \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 16 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 4 \text{K}_2\text{SO}_4 + 4 \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 6 \text{CO}_2 + 22 \text{H}_2\text{O}$ .

A 0.02 g de muestra seca se agregaron 5 mL de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 10 mL de ácido sulfúrico, se enfrió por 30 min, se agregaron 35 mL de agua destilada, se agitó después de cada adición y reposó una noche. La absorbancia se midió a 590 nm. El contenido total de cada muestra se multiplicó por el porcentaje de C obtenido por espectrofotometría, y por la biomasa de la muestra, y el contenido de C total por planta sería la sumatoria del C total de fuste, ramas y raíces. Para obtener la ecuación alométrica y estimar el C se empleó el modelo alométrico que relaciona el contenido de C con la altura de la planta (Swift, 2000; Avendaño *et al.*, 2009). Análisis estadístico descriptivo y pruebas de correlación ( $\alpha=0.05$ ) se aplicaron a los datos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estimación de la biomasa

El promedio general de biomasa de fuste, hojas y raíces fue  $1104.34 \pm 87.85$  kg; la biomasa de las plantas de Huehuetán fue mayor que en Tapachula y Villa Comaltitlán. Las plantas de los dos últimos sitios tuvieron la mayor densidad (Cuadro 1). Esos valores no se reflejaron en la biomasa total, pues el DAP en promedio y altura fueron mayores en Huehuetán que los otros sitios. De acuerdo con la información proporcionada por los productores, la variabilidad de los datos de campo se debe a diferencias en: 1) manejo agronómico del cultivo, como en la aplicación de macros y micro-minerales esenciales; 2) suministro de agua, con sequedad en zonas altas e inundaciones en sitios bajos y cercanos al mar; y 3) condiciones ambientales, como temperatura y precipitación. Lo anterior concuerda con lo señalado por Corley y Gray (1982). Todos los factores mencionados son determinantes en el cultivo pues el desarrollo máximo se alcanza después de 6 a 12 años, aunque la planta puede continuar su crecimiento, a razón de 35 a 75 cm por año, dependiendo de las condiciones ambientales (Corley y Gray, 1982; Cayón, 1999). En nuestra investigación las plantas evaluada tenían alrededor de 12 años.

of the total C content in stem, branches and roots. To obtain the allometric equation and estimate C, the allometric model that relates the content of C to plant height was used (Swift, 2000; Avendaño *et al.*, 2009). Descriptive statistical analysis and correlation tests ( $\alpha=0.05$ ) were applied to the data.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Biomass estimation

The general average of stem, leaf and root biomass was  $1104.34 \pm 87.85$  kg. Plants from Huehuetán had more biomass than plants from Tapachula and Villa Comaltitlán. The plants of the two latter sites had higher density (Table 1). These values were not reflected in total biomass, since average DBH and height were larger in Huehuetán than in other sites. According to the information provided by growers, variability of the field data is due to differences in: 1) agronomic management of the crop, such as the application of essential macro and micro minerals; 2) water supply: drought in high areas and flooding in low areas and in areas close to the sea; and 3) environmental conditions, such as temperature and precipitation. This coincides with Corley and Gray (1982). All the factors mentioned are determinant for the crop since maximum development is achieved after 6 to 12 years, although the plant can continue growing at a rate of 35 to 75 cm per year, depending on environmental conditions (Corley and Gray, 1982; Cayón, 1999). In our study, the plants evaluated were about 12-years-old.

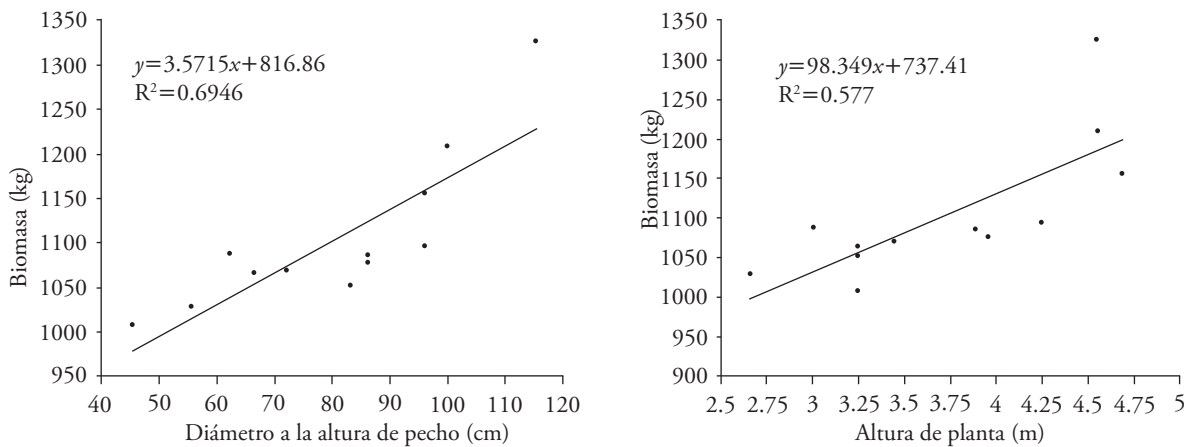
The linear allometric model was  $Y=3.571X + 816.86$  ( $R^2=0.695$ ) and  $Y=98.349X + 737.41$  ( $R^2=0.577$ ) to determine biomass based on DBH and plant height, respectively (Figures 1A and 1B). The coefficients of determination for both variables reduce reliability of the equations to determine biomass in 12-year-old palm plants, but they are not ruled out. We suggest increasing the number of replications and older plants to estimate applicable allometric equations (Thenkabail *et al.*, 2004; Leblanc *et al.*, 2006). However, for growers, it is difficult to provide plants for sampling. For this reason, the number of plants for destructive sampling was reduced in the Soconusco region. The proportion of root biomass and shoot biomass in this study was 0.06, which is notably low relative to other studies.

**Cuadro 1. Características dasométricas de plantas de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq) en Soconusco, Chiapas, México.**

**Table 1. Table 1. Dasometric characteristics of oil palms (*Elaeis guineensis* Jacq) in Soconusco, Chiapas, México.**

Planta número	DAP (cm)	Altura de planta (m)	Densidad de madera (g cm <sup>-3</sup> )	Biomasa total (kg)	Carbono total (%)	Cantidad de carbono (kg planta <sup>-1</sup> )
Sitio 1. Tapachula						
1	83.25	3.25	0.16	1052.01	47.34	498.02
2	55.54	2.66	0.14	1027.77	46.78	480.79
3	100.03	4.56	0.15	1208.35	45.36	548.11
4	72.25	3.45	0.13	1068.5	48.25	484.67
Promedio	77.77	3.48	0.15	1089.16	46.93	502.90
$\sigma$	18.71	0.79	0.01	81.20	1.21	31.03
Sitio 2. Huehuetán						
1	62.35	3.01	0.10	1087.07	47.56	517.01
2	86.36	3.96	0.10	1076.18	51.25	551.54
3	96.25	4.25	0.10	1095.07	46.35	507.56
4	115.45	4.55	0.12	1325.45	51.23	614.35
Promedio	90.10	3.94	0.11	1145.94	49.10	547.62
$\sigma$	22.09	0.67	0.01	119.92	2.52	48.34
Sitio 3. Villa Comaltitlán						
1	66.58	3.25	0.24	1064.06	42.34	450.52
2	96.25	4.69	0.25	1155.49	52.36	605.01
3	45.36	3.25	0.23	1006.74	54.25	546.16
4	86.25	3.89	0.25	1085.36	58.25	588.81
Promedio	73.61	3.77	0.24	1077.91	51.80	547.63
$\sigma$	22.51	0.68	0.01	61.46	6.77	69.33
Promedio general	80.49	3.73	0.16	1104.34	49.28	532.71
$\sigma$	20.50	0.68	0.06	87.85	4.35	51.92

DAP: Diámetro a la altura de pecho, CD: categoría diamétrica. La biomasa de cada palma se obtuvo con destrucción de las plantas. La cantidad de C es un promedio del tallo, hojas y raíces de cada planta ♦ DAP: diameter at breast height, CD: diametric category. The biomass of each palm was obtained by destructive sampling. The amount of C is an average of stem, leaves and roots of each plant.



**Figura 1. Dispersión de los valores medidos y la línea de regresión generada con el modelo lineal para estimar la biomasa con base en diámetro a la altura de pecho (DAP) y altura total de *E. guineensis* Jacq.**

**Figure 1. Dispersion of the measured values and regression line generated with the linear model to estimate biomass based on diameter at breast height (DAP) and total height of *E. guineensis* Jacq.**

El modelo alométrico lineal fue  $Y=3.571X + 816.86$  ( $R^2=0.695$ ) y  $Y=98.349X + 737.41$  ( $R^2=0.577$ ) para determinar biomasa con base en DAP y altura de planta, respectivamente (Figuras 1A y 1B). Los valores del coeficiente de determinación para ambas variables reducen la confiabilidad a las ecuaciones para determinar la biomasa en las plantas de palma de 12 años; pero no se descarta, por lo que se sugiere aumentar la cantidad de repeticiones y plantas de mayor edad para estimar ecuaciones alométricas aplicables (Thenkabail *et al.*, 2004; Leblanc *et al.*, 2006). Sin embargo, para los productores es complicado proporcionar ejemplares para obtener muestras. Por esto, el número de plantas para muestreo destructivo se redujo en la región del Soconusco. La proporción de biomasa de raíces y biomasa aérea en este estudio fue 0.06, la cual es notablemente baja respecto a la de otros estudios. Las ecuaciones alométricas y transformaciones similares se han reportado en *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. (Avenidaño *et al.*, 2009) y otras especies arbóreas, como *Cupania dentata* DC., *Alchornea latifolia* Sw. e *Inga punctata* Willd (Aquino-Ramírez *et al.*, 2015). Por lo tanto, los resultados de nuestra investigación aun no corroboran el ajuste del modelo alométrico para determinar biomasa y C capturado, si se conoce DAP; lo que difiere de la altura de la planta, pues el modelo podría ser más preciso. Por esto más estudios son necesarios, con más muestras para lograr el acercamiento a los modelos aceptables en la literatura con otras especies.

La relación entre DAP y altura de las plantas fue positiva (Figura 2). La ecuación lineal fue:  $\text{Altura (m)} = 0.029(\text{DAP}) + 1.439$  y  $R^2=0.762$ . Así, esta ecuación se puede usar para estimar la altura (m) de la planta con los datos de DAP (cm) en palma de aceite en la zona trópica húmeda de Chiapas.

#### Ecuaciones alométricas para determinar el almacenamiento de carbono en plantas de palma de aceite

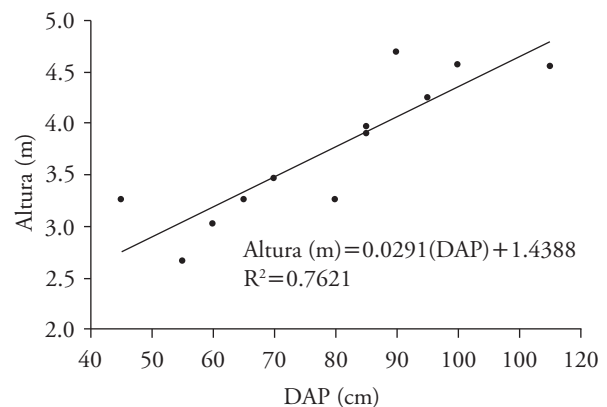
La cantidad de C puede depender de factores múltiples y Leblanc *et al.* (2006) señalaron que entre los principales están manejo nutricional, edad de la planta, factores climáticos como la precipitación y tipo de suelo. En nuestra investigación, independientemente de la variabilidad en los valores determinados, las cantidades de C no fueron diferentes

The allometric equations and similar transformations were reported in *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. & Cham. (Avenidaño *et al.*, 2009) and other tree species, such as *Cupania dentata* DC., *Alchornea latifolia* Sw. and *Inga punctata* Willd (Aquino-Ramírez *et al.*, 2015). Therefore, the results of our study still do not corroborate the fit of the allometric model to determine biomass and sequestered C if DBH is known. However, by using plant height the model could be more precise. For this reason, it is necessary to conduct more studies with more samples to approach the acceptable models used in the literature with other species.

The relationship between DBH and plant height was positive (Figure 2). The linear equation was  $\text{height (m)} = 0.029(\text{DBH}) + 1.439$  and  $R^2 = 0.762$ . This equation can thus be used to estimate plant height (m) with data on DBH (cm) of oil palm in the wet tropical region of Chiapas.

#### Allometric equation to determine carbon stored in oil palm plants

The amount of C can depend on multiple factors. Leblanc *et al.* (2006) pointed out that among the



**Figura 2.** Relación entre altura del árbol (m) y diámetro a la altura de pecho (DAP, cm). Dispersión de los valores medidos para estimar la altura de plantas de palma de aceite (*E. guineensis* Jacq.) y línea de regresión generada con el modelo.

**Figure 2.** Relationship between palm height (m) and diameter at breast height (DAP, cm). Dispersion of mean values for estimation oil palm (*E. guineensis* Jacq.) and regression line generated with the model.



**Cuadro 2. Carbono almacenado (kg) en plantas de palma de aceite (*E. guineensis* Jacq.) en el Soconusco, Chiapas, México.**  
**Table 2. Carbon stored (kg) in oil palm plants (*E. guineensis* Jacq.) in Soconusco, Chiapas, México.**

Sitio	Planta (número)	Tallo	Hojas	Raíz	Total
Tapachula	1	281.12	185.40	31.50	498.02
	2	244.95	209.06	26.77	480.79
	3	298.86	223.74	25.51	548.11
	4	259.22	204.68	20.77	484.67
Promedio ( $\sigma$ )		271.04±23.8	205.72±15.8	26.13±4.4	502.90±31.0
Huehuetán	1	297.71	193.51	25.79	517.01
	2	317.85	208.46	25.23	551.54
	3	271.59	215.01	20.96	507.56
	4	330.06	255.97	28.32	614.35
Promedio ( $\sigma$ )		304.30±25.6	218.24±26.7	25.08±3.1	547.62±48.3
Villa Comaltitlán	1	261.82	165.74	22.97	450.52
	2	349.96	228.81	26.24	605.01
	3	324.62	193.86	27.68	546.16
	4	336.97	222.48	29.36	588.81
Promedio ( $\sigma$ )		318.34±39.1	202.72±28.9	26.56±2.7	547.63±69.3

Promedio ( $\sigma$ ): valor promedio por sitio de muestreo  $\pm$  desviación estándar ♦ Average ( $\sigma$ ): average value by sampling site  $\pm$  standard deviation.

entre sitios ni entre las plantas ( $p > 0.05$ ). La palma de aceite, de alrededor de los 12 años de edad, con una densidad de 143 plantas  $\text{ha}^{-1}$  en la región Soconusco tiene potencial de almacenamiento promedio de  $76.18 \pm 0.047 \text{ Mg C ha}^{-1}$  y tasa media de fijación anual de  $6.53 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Los valores por hectárea y la tasa fija fueron superiores a los  $42.87 \text{ Mg C ha}^{-1}$  en plantas de palma reportados por Khalid *et al.* (2000), y  $31.21 \text{ Mg C ha}^{-1}$  en plantas de 12 años por Rodríguez *et al.* (2000)<sup>6</sup>. En contraste, Thenkabail *et al.* (2004) encontraron  $14.75$  y  $14.94 \text{ Mg C ha}^{-1}$  mediante imágenes satelitales (IKONOS Satellite Images); pero esta técnica difiere de la aplicada en nuestro estudio. Pulhin *et al.* (2014) usaron un sistema de muestreo destructivo, similar a nuestra investigación, y reportaron  $55.0 \text{ Mg C ha}^{-1}$  con un potencial de fijación de  $6.1 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , semejante a nuestro estudio.

Con el contenido total de C (tallos, hojas y raíz) de las 12 plantas muestreadas, se generaron ecuaciones alométricas para estimar la cantidad de C almacenado

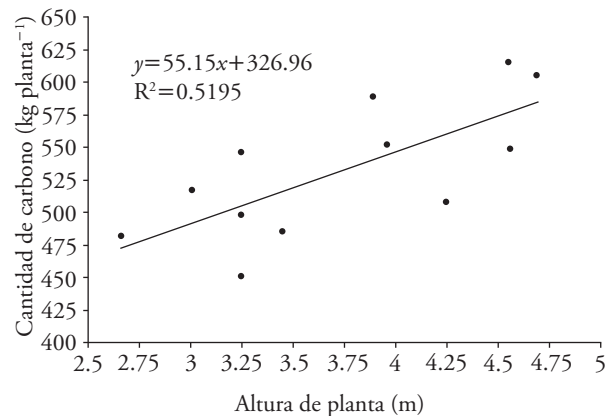
main factors are nutrient management, plant age, and climatic factors such as precipitation, and type of soil. In our study, regardless of the variability of the determined values, the quantities of C were not different among sites nor among plants ( $p > 0.05$ ). Oil palms about 12 years old at a density of 143 plants  $\text{ha}^{-1}$  in the Soconusco region has the potential to store an average of  $76.18 \pm 0.047 \text{ Mg C ha}^{-1}$  and the annual rate of fixation is  $6.53 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . The values per hectare and the fixation rate were higher than the  $42.87 \text{ Mg C ha}^{-1}$  in plants reported by Khalid *et al.* (2000) and  $31.21 \text{ Mg C ha}^{-1}$  in 12-year-old plants reported by Rodríguez *et al.* (2000)<sup>6</sup>. In contrast, Thenkabail *et al.* (2004) found  $14.75$  and  $14.94 \text{ Mg C ha}^{-1}$  using satellite images (IKONOS Satellite Images), but this technique differs from that applied in our study. Pulhin *et al.* (2014) used a system of destructive sampling like that of our study and reported  $55.0 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , a C fixing potential of  $6.1 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ , similar to that found in our study.

<sup>6</sup>Carbono e Nitrogênio na biomassa aérea de cultivo do dendê em Latossolo Amarelo da Amazônia Ocidental. In: Congresso Brasileiro e Sistemas Agroflorestais: Manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural, Manaus, AM. Embrapa Amazônia Ocidental. pp: 82-84.

respecto a la altura de la planta, pues cuando se usó DAP el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) no fue aceptable. La ecuación que se ajustó mejor fue la del modelo lineal ( $y = \beta_0 + \beta_1 x$ ) (Figura 3). Pocas muestras de campo podrían haber determinado el coeficiente bajo de determinación para la ecuación lineal, entre cantidad de C y altura de la planta, lo cual mejoró cuando se hizo la evaluación entre cantidad de C y DAP.

En Centroamérica y Asia el cultivo de palma de aceite tiene potencial de captura de C, con valores de 96.02 y 103.35 Mg de C ha<sup>-1</sup>, en los perfiles de suelo de 0 a 30 cm y 0 a 50 cm, (Leblanc *et al.* 2006; Ibrahim *et al.* 2007). Estas cantidades superan a las registradas en la fracción de raíces y suelo en nuestro estudio. Leblanc *et al.* (2006) y Ibrahim *et al.* (2007) reportaron capturas de 22.68 Mg de C ha<sup>-1</sup> en la biomasa aérea, menor al promedio de C determinado en los tres municipios en la región Soconusco. Así, el almacenamiento de C en palma de aceite podría incrementarse con la interacción de factores, como ubicación geográfica favorable para este cultivo, precipitación anual entre 1800 y 2200 mm, temperaturas de 25 a 28 °C, suelos adecuados (sitio 1 Cambisoles y Acrisoles; sitio 2 Cambisoles y Solonchak, y sitio 3 Feozen y Cambisol y Solonchak), más profundos y salitrosos con su cercanía a la costa del Pacífico (INEGI, 2010). Específicamente, el manejo agronómico de la plantación, con aplicaciones de mezclas de micros y macros nutrientes, necesarios para un desarrollo adecuado del cultivo, podría ser determinante en el almacenamiento de carbono.

En la literatura se reportan cantidades de C capturado en sistemas de producción agrícola, desde 18.2 a 57.3 Mg de C ha<sup>-1</sup> en caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.). La variabilidad está determinada por factores agroclimáticos y calidad del suelo (Aryal *et al.*, 2014). En otros sistemas agrícolas en Chiapas se han estimado capturas de C (Mg C ha<sup>-1</sup>) en 116.8 en acahuales, 46.7 en plantaciones de cercos vivos, 116.8 en pastizales de uso ganadero, 130.2 en plantaciones y cercos en café y 180.8 en milpas con callejones; la captura mayor fue por árboles establecidos en cada uno de estos sistemas y el reciclaje fue por la formación de madera (Alegre *et al.*, 2004; Lapeyre *et al.*, 2004; Díaz-Franco *et al.*, 2007). En cultivos anuales la tasa de captura es 0.1 a 0.8 Mg de C ha<sup>-1</sup> para el sistema maíz-frijol, en ellos se generan emisiones mayores de gases con efecto invernadero (GEI) cuando se usan agroquímicos y con la quema de los



**Figura 3.** Dispersión de los valores observados para estimar el C en plantas de palma de aceite (*E. guineensis* Jacq.) y la línea de regresión generalizada con el modelo linealizado.

**Figure 3.** Dispersion of observed values for estimation of C in oil palm plants (*E. guineensis* Jacq.) and the generalized regression line with the linearized model.

With the total C content (stem, leaves and root) of the 12 sampled plants, allometric equations were generated to estimate the amount of stored C relative to plant height since, when DBH was used, the coefficient of determination ( $R^2$ ) was not acceptable. The equation with the best fit was the linear model ( $y = \beta_0 + \beta_1 x$ ) (Figure 3). The small number of field samples could have determined the low coefficient of determination for the linear equation between the amount of C and plant height; this improved when the evaluation was between the amount of C and DBH.

In Central America and Asia, cultivation of oil palm has the potential to sequester C, with values of 96.02 and 103.35 Mg C ha<sup>-1</sup>, in the 0 to 30 cm and 0 to 50 cm soil profiles (Leblanc *et al.*, 2006; Ibrahim *et al.*, 2007). These quantities surpass those we registered in the root fraction and soil in our study. Leblanc *et al.* (2006) and Ibrahim *et al.* (2007) reported sequester of 22.68 Mg C ha<sup>-1</sup> in shoot biomass, lower than the average of C determined in the three municipalities in the Soconusco region. Thus, the C stock in oil palm could increase with the interactions of factors, such as favorable geographic location for this crop, annual precipitation of 1800 to 2200 mm, temperatures of 25 to 28 °C, suitable soils

residuos de la cosecha; en pastizales para uso ganadero es 0.1 a 0.2 Mg de C ha<sup>-1</sup>; en áreas reforestadas es 4 a 8 Mg de C ha<sup>-1</sup> y en el sistema agrosilvopastoril (plantas cultivables más poaceas) es 0.2 a 3.1 Mg de C ha<sup>-1</sup>.

Aunque hay métodos, protocolos y sistemas de gestión, se necesitan estandarizar los procesos para determinar y calcular las emisiones y fijación de C para tener resultados reales, reproducibles y comparables y seguir la huella del C en el cultivo. El método en esta investigación puede ser confiable para esas estimaciones en *E. guineensis* en Chiapas, como se ha aplicado en otras especies forestales (Castilla, 2004; Avendaño *et al.*, 2009).

## CONCLUSIONES

La palma de aceite tiene potencial de captura de carbono ligado al potencial de formación de biomasa, y es un cultivo importante en la mitigación del cambio climático. La mayor acumulación de este elemento es en el fuste, le siguen las ramas y luego las raíces. La técnica empleada permitió estimar la biomasa y el carbono secuestrado en este cultivo. Pero, las ecuaciones alométricas generadas fueron poco confiables para la predicción, por lo cual el número de repeticiones o muestras debe aumentarse, para reducir el error en el muestreo basado en el DAP e incluso la altura de la planta. La técnica de evaluación en esta investigación generó la base para evaluar la acumulación de carbono en la fracción aérea y subterránea de la planta en el trópico húmedo del sureste mexicano.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado a esta investigación, mediante el proyecto intitulado: "Estimación e impacto ambiental de la captura de carbono en plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el estado de Chiapas", de la convocatoria de Proyectos de Desarrollo Científico para atender Problemas Nacionales (PDCPN2013-01). Clave 06/AGH/CBC/234/14 en la Dirección General de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Chiapas.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas (COCYTECH) por el apoyo para la difusión de los resultados de este proyecto de investigación en el VI Congreso Internacional de Desarrollo Local (Universidad de Granma, Cuba).

(site 1, Cambisols and Acrisols; site 2, Cambisols and Solonchak; site 3, Feozen, Cambison and Solonchak), which are deeper and salty because of proximity to the Pacific coast (INEGI, 2010). Specifically, agronomic management of the plantation with applications of mixtures of micro and macro nutrients necessary for adequate crop development could be determinant in carbon sequester.

In the literature, quantities from 18.2 to 57.3 Mg C ha<sup>-1</sup> sequestered by sugarcane agricultural production systems were reported in *Saccharum officinarum* L. Variability is determined by agroclimatic factors and soil quality (Aryal *et al.*, 2014). In other agricultural systems in Chiapas C sequester (Mg C ha<sup>-1</sup>) was estimated at 116.8 in secondary shrub, 46.7 in plantations of live fences, 116.8 in livestock grazing pastures, 130.2 in coffee plantations and fences and 180.8 in milpas with paths. The highest sequester was recorded in the trees established in each of these systems and recycling was through wood formation (Alegre *et al.*, 2004; Lapeyre *et al.*, 2004; Díaz-Franco *et al.*, 2007). In annual crops, the sequester rate is 0.1 to 0.8 Mg C ha<sup>-1</sup> for maize-bean systems. These systems generate higher emissions of greenhouse effect gases (GEG) when agrochemicals are used and when harvest residues are burned. In grasslands used for livestock grazing C sequester is 0.1 to 0.2 Mg de C ha<sup>-1</sup>; it is 4 to 8 Mg C ha<sup>-1</sup> in reforested areas, and 0.2 to 3.1 Mg C ha<sup>-1</sup> in agrosilvopastoral systems (crops plus poaceae).

Although methods, protocols and management systems do exist, it is necessary to standardize the processes to determine and calculate emissions and C sequester to have real, reproducible and comparable results and to follow the C footprint in the crop. The method in this study can be reliable for those estimations in *E. guineensis* in Chiapas, as it has been applied in other forest species (Castilla, 2004; Avendaño *et al.*, 2009).

## CONCLUSIONS

The potential of the oil palm to sequester carbon is linked to its potential to form biomass, and it is an important crop in mitigating climate change. The greatest accumulation of this element is in the stem, followed by the branches and roots. The technique used allowed estimation of biomass and carbon

## LITERATURA CITADA

- Acosta, M. M., J. J. Vargas, A. M. Velázquez, y J. D. Etchevers. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36: 752-736.
- Alegre, J., L. Arévalo, A. Ricse, D. Callo-Concha, y C. Palm. 2004. Secuestro de carbono con sistemas alternativos en el Perú. *In*: Muller, M., A. Gama-Rodrigues, I. Silva Fontes, e M. Carvalho (eds). *Sistemas Agroflorestais, Tendência da Agricultura Ecológica nos Trópicos, Sustentação da Vida e Sustentação de Vida*. Sociedade Brasileira de sistemas Agroflorestais, Comissão Executiva do plano da lavoura caucária e Universidade Estadual do Norte Fluminense, Ilheus- BA. pp: 27-32.
- Andrade, H. J., R. Brook, and M. Ibrahim. 2008. Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant Soil* 308: 11-22.
- Aquino-Ramírez, M., A. Velázquez-Martínez, J. F. Castellanos-Bolaños, H. De los Santos-Posadas, y J. D. Etchevers-Barra. 2015. Partición de la biomasa aérea en tres especies arbóreas tropicales. *Agrociencia* 49: 299-314.
- Aryal, D. R., B. H. De Jong, S. Ochoa-Gaona, L. Esparza-Olguin, and J. Mendoza-Vega. 2014. Carbon stocks and changes in tropical secondary forests of Southern Mexico. *Agric. Ecosys. Environ.* 195: 220-230.
- Avendaño, D. M., M. M. Acosta, F. A. Carrillo, y J. D. Etchevers. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies*. *Fitotec. Mex.* 32: 233-238.
- Ávila, G., F. Jiménez, J. Beer, M. Gómez, y M. Ibrahim. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agrofor. Am.* 8: 32-35.
- Brown, S. 2001. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environ. Poll.* 116: 363-372.
- Castilla, C. 2004. Potencial de captura de carbono por la palma de aceite en Colombia. *Palmas* 25: 366-371.
- Cayón, S. D. G. 1999. Apuntes sobre fisiología del crecimiento y desarrollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Palmas* 20: 43-54.
- Corley, R.V.H., and B. S. Gray. 1982. Growth and morphology. *In*: Corley, R.V.H., J. J. Hardon, and B. J. Wood (eds). *Oil Palm Research*. Elsevier, Amsterdam. pp: 7-21.
- Derner, J. D., and G. E. Schuman. 2007. Carbon sequestration and rangelands – a synthesis of land management and precipitation effects. *J. Soil Water Conserv.* 62: 77-85.
- Díaz-Franco, R., M. Acosta-Mireles, F. Carrillo-Anzures, E. Buendía-Rodríguez, E. Flores-Ayala, y J. D. Etchevers-Barra. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13: 25-34.
- Follett, R. E., and D. Reed. 2010. Soil carbon sequestration in grazing lands, societal benefits and policy implications. *Rangel. Ecol. Manage.* 63: 4-15.
- Hairiah, K., S. Dewi, F. Agus, S. Velarde, A. Ekadinata, S. Rahayu, and M. van Noordwijk. 2011. *Measuring Carbon Stocks Across Land Use Systems: A Manual*. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre (ICRAF), SEA Regional Office, 154 pages. [www.worldagroforestry.org/sea/Publications/files/manual/MN0050-11/MN0050-11-1.pdf](http://www.worldagroforestry.org/sea/Publications/files/manual/MN0050-11/MN0050-11-1.pdf) (Consulta: agosto 2016).
- Ibrahim, M., M. Chacón, C. Cuartas, J. Naranjo, G. Ponce, P. Vega, F. Casasola, y J. Rojas. 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. *Agrofor. Am.* 47: 27-36.
- Kaurichev, I. S., N. P. Panov, M. V. Stratonovich, I. P. Grechin, V. I. Savich, N. F. Ganzhara, y A. P. Mershin. 1984. *Prácticas de Edafología*. Ed. Mir, Moscú, URSR. 287 p.
- Khalid, H., Z. Z. Zakaria, y J. M. Anderson. 2000. Cuantificación de la biomasa de la palma de aceite y su valor nutritivo en una plantación desarrollada. I. La biomasa encima del suelo. *Palmas* 21: 67-77.
- Lapeyre, T., J. Alegre, y L. Arévalo. 2004. Determinación de las reservas de carbono de la biomasa aérea, en diferentes sistemas de uso de la tierra en San Martín, Perú. *Ecol. Apl.* 3: 35-44.
- Leblanc H., R. Russo, J. J. Cueva, y E. Subía. 2006. Fijación de carbono en palma aceitera en la región tropical húmeda de Costa Rica. *Tierra Trop.* 2: 143-148.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2016. Trends in atmospheric carbon dioxide concentration. NOAA. <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>. (Consulta: septiembre 2016).
- Pacheco, E. F. C., A. Aldrete, A. G. Gómez, A. M. Fierros, A. B. Cetina, y H. H. Vaquera. 2007. Almacenamiento de carbón en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Rev. Fitotec. Mex.* 30: 251-254.
- Prentice, I. C., G. D. Farquhar, M. J. R. Fasham, M. Goulden, M. Heimann, V. J. Jaramillo, H. S. Khashgi, C. Le Quéré, R. J. Scholes, and D. W. R. Wallace. 2001. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. *In*: Houghton, J. T. (ed.). *Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge and New York, USA. pp: 183-237.
- Pulhin, F. B., R. D. Lascob, and J. P. Urquiola. 2014. Carbon sequestration potential of oil Palm in Bohol, Philippines. *Ecosys. Develop. J.* 4: 14-19.

—End of the English version—



- SAS Institute, Inc. 2009. *SAS/STAT User's Guide: Statistics*. 8<sup>th</sup> ed. SAS Institute, Inc. Cary, US. 846 p.
- Schlichting, E., H. P. Blume, and K. Stahr. 1995. *Bodenkundliches Praktikum*, Berlin/Wien. Blockwell. Wissenschafts-Verlag. 295 p.
- Smith, T. M., T. C. Peterson, J. N. Lawrimore, and R. W. Reynolds. 2005. New surface temperature analyses for climate monitoring. *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L14712. [www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/Smith-comparison.pdf](http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/Smith-comparison.pdf) (Consulta: febrero 2016).
- Swift, R. S. 2001. Sequestration of carbon by soil. *Soil Sci.* 166: 858-871.
- Thenkabail, P. S., N. Stucky, B. W. Griscom, M. S. Aston, J. Diels, B. Van Deer Meer, and E. Enclona. 2004. Biomass estimation and carbon stock calculations in the oil palm plantations of African derived savannas using IKONOS data. *Int. J. Remote Sens.* 25: 5447-5472.