

Nota técnica

Captura de carbono en la biomasa aérea de la palma de aceite en Chiapas, México¹

Carbon sequestration in aerial biomass of the oil palm in Chiapas, Mexico

Rutver Aranda-Arguello², Alejandro Ley-de Coss³, Concepción Arce-Espino³, René Pinto-Ruiz³, Francisco Guevara-Hernández³, Deb Raj-Aryal³

Resumen

Chiapas, México, ocupa el primer lugar en superficie y producción de palma de aceite, se puede considerar como alternativa de mitigación del cambio climático, por el potencial de los cultivos perennes para fijar en su biomasa el carbono (C) que se libera en forma de CO₂ ambiental. El objetivo de este trabajo fue medir el carbono capturado en la fracción aérea de la planta de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). El estudio se realizó de enero del 2016 a junio del 2017 en tres regiones productoras; donde a veintidós plantas de doce años en promedio se les determinó la biomasa del estípote mediante la técnica del cono truncado, mientras que, para las hojas se utilizó la equivalencia del 65% de la biomasa del estípote. Con estos datos se realizó una estadística descriptiva para conocer los valores de biomasa. La cantidad de C se determinó por el método de Walkley y Black modificado por espectrofotometría de UV. La biomasa acumulada por planta fue de 1877,30 kg, que representó 268,45 t/ha con una densidad promedio de 143 plantas/ha. El 49,35% y 44,15% fue carbono en estípote y hojas, respectivamente; por tanto, la cantidad de este elemento fue 877,64 kg de carbono por planta, que representó 125,5 t/ha. Se generó una ecuación alométrica que estima la biomasa a partir del volumen del estípote ($y = 243,86 + 990,61x$), así como para la cantidad de carbono a partir de la biomasa ($y = 149,07 + 0,39x$). Se determinaron dos modelos alométricos con los datos obtenidos del cultivo de palma de aceite, los cuales se sugiere sean evaluados en campo para determinar el grado de confiabilidad en la estimación de biomasa y el carbono almacenado bajo condiciones agroclimáticas similares a las del presente estudio.

Palabras clave: cultivo agroindustrial, ecuación alométrica, impacto ambiental, acumulación de carbono, producción de aceite.

¹ Recibido: 23 de enero, 2018. Aceptado: 29 de mayo, 2018. Este trabajo formó parte de la investigación para obtener el grado de Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical del primer autor, como parte del proyecto: Estimación e impacto ambiental de la captura de carbono en plantaciones de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el estado de Chiapas, dentro de Proyectos de Desarrollo Científico para atender Problemas Nacionales (PDCPN2013-01) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México.

² Universidad Autónoma de Chiapas, Estudiante graduado de la Maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical de la DES Ciencias Agropecuarias, México. aranda_100@live.com.mx

³ Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus V. Cuerpo Académico de Agroforestería Pecuaria. Villaflores, Chiapas, México. aleycooss@gmail.com, arceespino@gmail.com, pinto_ruiz@yahoo.com.mx, fragueher@prodigy.net.mx, debraj.aryal@hotmail.com



Abstract

Chiapas, Mexico, occupies the first place in surface and production of oil palm, as an alternative to mitigate climate change, for the potential of perennial crops to fix in their biomass the carbon (C) that is released in the form of environmental CO₂. The objective of this work was to measure the carbon captured in the aerial fraction of the oil palm plant (*Elaeis guineensis* Jacq.). The study was conducted from January 2016 to June 2017 in three producing regions; where to twenty-one plants of twelve years on average, the stipe biomass was determined using the truncated cone technique, while for the leaves the equivalence of 65% of the biomass of the stipe was used. With these data, a descriptive statistic was made to know the biomass values. The amount of C was determined by the Walkley and Black method modified by UV spectrophotometry. The accumulated biomass per plant was 1877.30 kg, representing 268.45 t/ha with an average density of 143 plants/ha. 49.35% and 44.15% were carbon in stipe and leaves, respectively; therefore, the quantity of this element was 877.64 kg of carbon per plant, which represented 125.5 t/ha. An allometric equation was generated estimating the biomass from the volume of the stipe ($y = 243.86 + 990.61x$), as well as for the amount of carbon from the biomass ($y = 149.07 + 0.39x$). Two allometric models were determined with the data obtained from oil palm cultivation, which is suggested to be evaluated in the field to determine the degree of reliability in the estimation of biomass and carbon stored under the agroclimatic conditions similar to those of the present study.

Keywords: agroindustrial crop, allometric equation, environmental impact, carbon accumulation, oil production.

Introducción

En la literatura se menciona el efecto en el calentamiento global causado por actividades humanas como el uso excesivo de combustibles fósiles, el cambio de uso de suelo y la deforestación, debido a la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, principalmente de dióxido de carbono (CO₂), que han mostrado un aumento de 280 a 375 ppm en los últimos 200 años, a una tasa promedio de 1,5 ppm por año (Concha et al., 2007). Además, de una serie de alteraciones en el sistema climático, como el aumento de la temperatura, se han presentado alteraciones en la biodiversidad y rendimiento de los cultivos, lo cual ha forzado a establecer medidas de adaptación (IPCC, 2014). Ejemplos de las variaciones ambientales presentadas se dan en la región de América Latina y el Caribe, con aumentos en demanda de energía para la industria y el desarrollo urbano, conversión de extensas áreas de bosques y selvas para uso agrícola, es por ello, que en México, específicamente el estado de Chiapas, se deben introducir alternativas de producción agropecuaria bajas en carbono y sistemas de energía limpia para reducir las emisiones y aumentar la captura de GEI (IPCC, 2006).

Para mitigar los efectos del CO₂, es necesario reducir las emisiones y mantenerlo el mayor tiempo posible almacenado en la biomasa y el suelo, principalmente en los sistemas de producción agrícola (De-Jong et al., 2004), y si el tiempo medio de residencia del carbono en el tejido vegetal es largo, se da un proceso biológico de almacenamiento de carbono (Schlesinger, 1997). Una alternativa biótica para reducir la cantidad de CO₂ en la atmósfera, es absorber parte de este GEI por la vegetación, mediante el proceso de fotosíntesis, y que las plantas funcionen como almacén de C en forma de biomasa vegetal, la que después se convierte parcialmente en materia orgánica (Avendaño et al., 2009).

Aunque existen metodologías, protocolos y sistemas de gestión que se han desarrollado, es necesario estandarizar los procesos de cálculo en las emisiones y captura de carbono, a fin de obtener resultados verídicos, reproducibles y comparables para determinar la huella de C en el cultivo de palma en el estado de Chiapas, y obtener una herramienta de contabilidad, con base en el Green House Gas Protocol (2011), confiable para el sector agrícola, en especial con la palma como cultivo agroindustrial.

Sin embargo, en México, la información sobre el potencial de captura de carbono de diversos sistemas agrícolas es limitada y en algunos casos no existe, especialmente en cultivos de importancia económica y social, tal es el caso de la palma de aceite en Chiapas, que según el SIAP (2015), posee más de 43 mil hectáreas sembradas y a la fecha no cuenta con métodos evaluados que estimen dicho potencial. La situación anterior hace necesario obtener un inventario del carbono capturado en la biomasa aérea de la palma de aceite, que sirva de línea base para la elaboración de proyectos enfocados en la venta de bonos de carbono, además de la obtención de una ecuación alométrica que permita predecir la cantidad de carbono almacenado en la biomasa aérea, bajo las condiciones edafoclimáticas del estado de Chiapas. El objetivo de este trabajo fue medir el carbono capturado en la fracción aérea de la planta de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el Estado de Chiapas, México.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo de enero del 2016 a junio del 2017 en Chiapas, México, en los distritos de desarrollo rural de Tapachula, Palenque y Marqués de Comillas (ubicados en las regiones del Soconusco, Maya y Selva Lacandona, respectivamente). Se seleccionaron al azar veintiún plantas de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), de doce años en promedio, distribuidas en siete sitios de muestreo con tres plantas por sitio, correspondientes a los municipios de Tapachula, Huehuetán, Villa Comaltitlán y Acapetahua en el Soconusco; Palenque en la región Maya y Marqués de Comillas en la región Selva, donde la densidad de siembra establecida fue de 143 plantas/ha en todos los sitios. En el estado predomina el clima cálido húmedo en un 74% de la superficie, con temperaturas de 22 a 30 °C, la precipitación pluvial varía entre 2000 y 2500 mm anuales. En su mayoría, los suelos son Luvisoles y Regosoles con texturas francas y franco arenosas, de topografía plana y ligeramente inclinada (INEGI, 2004a; 2004b).

Para obtener la biomasa aérea (estípites y hojas) de la palma de aceite fue necesario determinar el volumen y la densidad del estípites, calculado con la ecuación: biomasa (B) = volumen (V) * densidad (D), y para las hojas, se estimó como el equivalente al 65% de la biomasa del estípites (Brown, 1997). En cada planta se midió la altura y la circunferencia (baja y alta) del estípites, y se utilizó la fórmula del cono truncado para obtener su volumen. Posteriormente, se extrajo de la parte media del estípites de cada planta una muestra en forma de cubo de aproximadamente 10 cm³ para obtener su densidad.

La muestra foliar se obtuvo de la hoja número diecisiete de cada planta, de ella se seleccionaron cuatro foliolos de la parte media (dos de ambos lados) y una porción de 5 cm de raquis de la parte central de la hoja. Las muestras de estípites y hoja de cada planta fueron deshidratadas en una estufa de aire forzado a una temperatura de 60 °C durante 48 horas, hasta alcanzar un peso constante. Posteriormente, se procesaron en un molino de cuchillas de acero inoxidable, integrado con un tamiz de Ø1 mm. Las muestras molidas se guardaron en bolsas de plástico y se colocaron en un desecador para mantenerlas en condiciones de baja humedad.

El porcentaje de C se determinó con el método de combustión húmeda de Walkley y Black (1934) modificado o técnica colorimétrica (Arrieché et al., 2013), y se midió la absorbancia a una longitud de onda de 590 nm, mediante un espectrofotómetro. Además, se realizó la respectiva curva de calibración con patrones de sacarosa de concentración conocida (4,343 mg de carbono por ml). La cantidad de C por planta se obtuvo del producto de la biomasa por el porcentaje de C, y se transformó a toneladas de C por hectárea, considerando una densidad de siembra de 143 plantas/ha. Se encontraron ecuaciones alométricas de tipo lineal ($Y = a + b \cdot X$), que permiten predecir la biomasa aérea de la palma de aceite a partir del volumen del estípites, así como para estimar la cantidad de carbono a partir de la biomasa.

Resultados

Para las condiciones agroclimáticas del estado de Chiapas, el cultivo de palma de aceite almacenó en promedio 1877,30 kg de biomasa por planta, equivalente a 268,45 t/ha. En el estúpito el promedio fue de 1138,14 kg y en las hojas 739,15 kg (Cuadro 1).

Cuadro 1. Sitios y cantidades de biomasa aérea (en estípites y hojas) calculada de la planta de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), en tres regiones de Chiapas, México. 2016-2017.

Table 1. Sites and quantities of aerial biomass (in stipe and leaves) calculated from the oil palm plant (*Elaeis guineensis* Jacq.) in three regions of Chiapas, Mexico. 2016-2017.

Sitio y predio de muestreo	Estúpito (kg)	Hojas (kg)	Planta completa (kg)
Tapachula - La Norteña	888,95	575,22	1464,17
Huehuetán - Plan de Ayala	980,69	665,25	1645,94
Villa Comaltitlán - Xochicalco	1184,63	755,89	1940,52
Acapetahua - El Arenal	1256,56	816,52	2073,08
Marqués de Comillas - El Progreso	1304,65	848,26	2152,91
Marqués de Comillas - El Playón	898,84	568,69	1467,53
Palenque - AGROIPSA	1452,69	944,25	2396,94
μ	1138,14	739,15	1877,30
σ	202,49	131,82	333,90

μ = Media; σ = Desviación estándar / μ = average, σ = standard deviation.

El promedio del porcentaje de carbono en el estúpito fue de 49,96% y en las hojas de 44,34%, con base en la materia seca de cada fracción; se observó mayor concentración en el estúpito, debido a que posee mayor cantidad de tejidos lignificados en comparación a las hojas (Cuadro 2). En el estado de Chiapas, el promedio de porcentaje de carbono en la palma de aceite fue de 47,15%, es decir, cerca de la mitad de la biomasa aérea de la planta es carbono orgánico.

Cuadro 2. Porcentaje de carbono (C) calculado en la biomasa aérea de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), en diferentes sitios de tres regiones de Chiapas, México. 2016-2017.

Table 2. Percentage of carbon (C) calculated in the aerial biomass of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in different sampling sites of three regions of Chiapas, Mexico. 2016-2017.

Sitio y predio de muestreo	Estúpito (% C)	Hojas (% C)	Estúpito más hojas (% C)
Tapachula - La Norteña	59,78	42,24	51,01
Huehuetán - Plan de Ayala	42,63	46,65	44,64
Villa Comaltitlán - Xochicalco	51,68	50,03	50,86
Acapetahua - El Arenal	51,39	50,84	51,11
Marqués de Comillas - El Progreso	52,87	41,32	47,09
Marqués de Comillas - El Playón	52,39	38,44	45,42
Palenque - AGROIPSA	38,95	40,84	39,89
μ	49,96	44,34	47,15
σ	6,44	4,48	3,90

μ = Media; σ = Desviación estándar / μ = average, σ = standard deviation.

El promedio de captura de C en la biomasa aérea de la palma de aceite en el estado de Chiapas fue de 125,50 t de C/ha con una desviación estándar promedio de 20,6 t de C/ha, en plantaciones de doce años. El promedio de carbono fijado por planta fue de 890,75 kg, en el estípite 561,99 kg y en las hojas 328,76 kg (Cuadro 3). La tasa de captura media anual de carbono en la biomasa aérea de la palma de aceite fue de 11 t/ha al año.

Cuadro 3. Cantidad de carbono (C) en la biomasa aérea de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), en diferentes sitios de tres regiones de Chiapas, México. 2016-2017.

Table 3. Amount of carbon (C) in the aerial biomass of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in different sampling sites of three regions of Chiapas, Mexico. 2016-2017.

Sitio y predio de muestreo	Estípite (kg C)	Hojas (kg C)	Estípite más hojas (kg de C)
Tapachula - La Norteña	531,41	242,97	774,39
Huehuetán - Plan de Ayala	418,07	310,34	728,41
Villa Comaltitlán - Xochicalco	612,22	378,17	990,39
Acapetahua - El Arenal	645,75	415,12	1060,86
Marqués de Comillas - El Progreso	689,77	350,50	1040,27
Marqués de Comillas - El Playón	470,90	218,60	689,51
Palenque – AGROIPSA	565,82	385,63	951,45
μ	561,99	328,76	890,75
σ	89,30	69,12	144,07

μ = Media; σ = Desviación estándar / μ = average, σ = standard deviation.

Con los datos del volumen del estípite, se obtuvo una ecuación alométrica de tipo lineal ($y = 243,86 + 990,61x$) para estimar la biomasa aérea de la palma de aceite (Figura 1), donde “y” es la biomasa aérea y “x” el volumen del

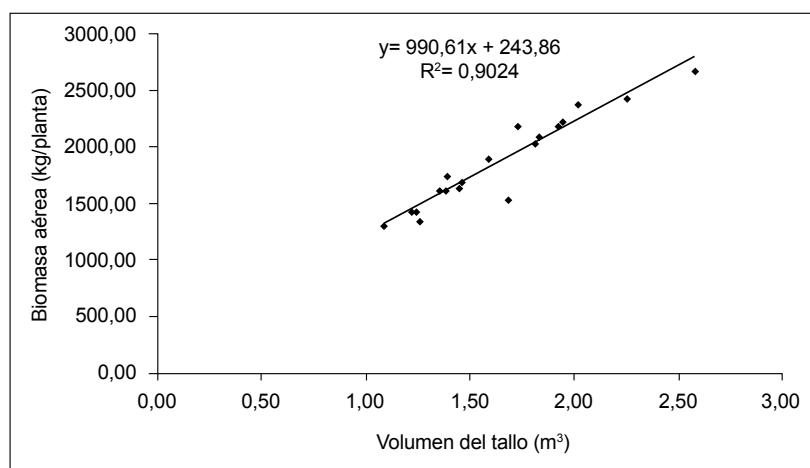


Figura 1. Ecuación lineal ajustada para estimar la biomasa aérea en relación al volumen del estípite en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), en tres regiones de Chiapas, México. Factor de determinación de 90,24%. 2016-2017.

Figure 1. Adjusted linear equation to estimate aerial biomass in relation to stipe volume in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in three regions of Chiapas, Mexico. Determination factor of 90.24%. 2016-2017.

estípite. Con los datos de la biomasa se obtuvo la ecuación alométrica para estimar el contenido de carbono por planta (Figura 2), donde “y” es la cantidad de carbono y “x” la biomasa aérea.

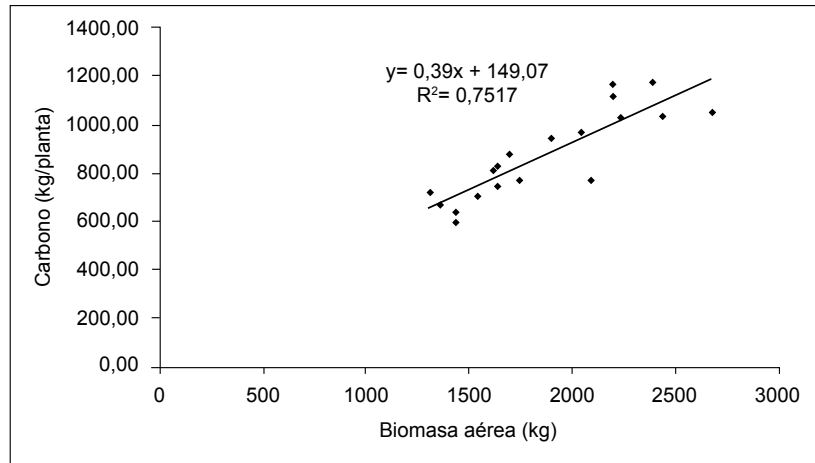


Figura 2. Ecuación lineal ajustada para estimar la cantidad de carbono en relación a la biomasa aérea en palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.), en tres regiones de Chiapas, México. Factor de determinación de 75,17%. 2016-2017.

Figure 2. Adjusted linear equation to estimate the amount of carbon related to the aerial biomass in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in three regions of Chiapas, Mexico. Determination factor of 75.17%. 2016-2017.

Discusión

Los resultados de biomasa obtenidos en la presente investigación fueron superiores a las cifras reportadas por Rees y Tinker (1963), quienes obtuvieron únicamente 344 kg como peso de la materia seca del tronco en una plantación de palma de aceite de veintidós años de edad; por su parte Ng et al. (1968), reportaron que el peso del estípite a los quince años era de 651 kg; y a su vez, Corley et al. (1971), calcularon el peso del estípite de la palma a una edad de 27,5 años, en alrededor de 300 kg. Esta diferencia se puede atribuir al peso de las bases peciolares que permanecen adheridas al estípite en estados juveniles de la planta, los cuales, posteriormente, se desprenden de manera natural, y según Khalid et al. (2000), representan alrededor del 18 al 20% de la biomasa del estípite.

La concentración de C en el tejido vegetal aéreo de la palma de aceite resultó ser similar a la proporción del 50% que se han reportado en otros cultivos (Castilla, 2004; Pacheco et al., 2007; Pulhin et al., 2014), con 46,75% de C/planta, por lo que, la mayoría de las plantas dicotiledóneas mantienen dicha proporción.

Estimaciones del contenido de C en palma de aceite que contrastan a las 125,50 t/ha calculadas en la presente investigación, corresponden a lo reportado por varios autores, con valores que van desde los 29,01 t/ha hasta 74,84 t/ha (Rees y Tinker, 1963; Corley et al., 1971; Poh et al., 1991; Tiong et al., 1991; Henson, 1993; Brown, 1997). Se han reportado 31,21 t/ha en plantas de doce años (Rodríguez et al., 2000) y se estimaron 42,87 t/ha en plantas de veintitres años (Khalid et al., 2000), y en plantaciones de uno a cinco años de edad se calcularon 14,84 t/ha (Thenkabail et al., 2004). Se reportaron 22,68 t/ha en la biomasa aérea en plantaciones de siete años de edad en Costa Rica (Leblanc et al., 2006), y un contenido de C de 55 t/ha en plantaciones de dos a nueve años en Filipinas (Pulhin et al., 2014). Todas las estimaciones anteriores fueron menores a las encontradas en el estado de Chiapas, lo que se puede atribuir a las condiciones edafoclimáticas (clima, suelo, precipitación), las cuales son similares en las tres regiones y propicias para el desarrollo del cultivo, además del manejo agronómico que favorece el crecimiento

de las plantas de palma y su respectivo incremento de tejidos lignificados, ya que la biomasa es directamente proporcional al contenido de C.

La tasa de captura de C obtenida en el presente estudio, fue de 11 t/ha/año, esta es una referencia más de la respuesta de la palma de aceite. Una tasa de captura de carbono de 9,74 t/ha/año fue obtenida en Malasia por Henson (1999). En plantaciones de uno a cinco años en África Occidental, se reportaron 2,97 t/ha/año con datos del satélite IKONOS y técnicas de análisis multiespectral de sensores remotos, validados en campo por muestreos destructivos (Thenkabail et al., 2004). Se encontraron 3,24 t/ha/año en la biomasa aérea en plantaciones de siete años de edad en Costa Rica (Leblanc et al., 2006) y 6,1 t/ha/año en plantaciones de nueve años en Filipinas (Pulhin et al., 2014). En comparación con la mayoría de los cultivos tropicales, la palma de aceite tiene un alto potencial para la captura de C, similar a las plantaciones forestales y agroforestales, las cuales alcanzan a almacenar de 40 a 130 toneladas de C, sin embargo, los bosques pueden almacenar hasta 170 t/ha, la selva puede almacenar de 90 a 165 t/ha y los acahuales hasta 280 t/ha (Adger et al., 1995; Masera et al., 1995; Torres y Guevara, 2002). Por lo tanto, los bosques, las selvas, los acahuales y las plantaciones agroforestales, son los únicos sistemas reportados que superan el potencial de captura de C de la palma de aceite. Sin embargo, la creciente demanda de aceite de palma y el aumento en superficie sembrada de este cultivo en el Estado de Chiapas, México, permitirá que este trabajo asiente las bases para medir la captura de carbono en cultivos agrícolas, que aún no han sido evaluados.

En México, especialmente en Chiapas, no existen modelos alométricos para palma de aceite, sin embargo, existen diversos trabajos realizados para estimar biomasa y C en especies forestales (Acosta et al., 2002; Díaz et al., 2007; Avendaño et al., 2009; Carrillo et al., 2014).

Conclusiones

En plantaciones de palma de aceite de doce años en promedio, la mitad de la biomasa aérea es carbono orgánico, por lo que, a mayor cantidad de biomasa, mayor será la cantidad de carbono fijado.

La palma de aceite tiene alto potencial de captura de carbono en la biomasa aérea, por lo que, representa una alternativa para la venta de bonos de carbono.

Se determinaron dos modelos alométricos con los datos obtenidos del cultivo de palma de aceite, los cuales deberán ser evaluados en campo para determinar el grado de confiabilidad en la estimación de biomasa y el carbono almacenado bajo condiciones agroclimáticas similares a las del presente estudio.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento 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” dentro 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.

También agradecen 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 en la Universidad de Granma, Cuba.

Literatura citada

- Acosta, M.M., H.J. Vargas, M.A. Velásquez, y J.D. Etchevers. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36:725-736.
- Adger, W., K. Brown, R. Cervigni, and D. Moran. 1995. Total economic value of forest in Mexico. *Ambio* 24:286-296.
- Arrieché, I., D.M. Ruíz, C.E. Carrillo-de-Cori, R.M. León, L.M. Aular, R. Mora, L. Castillo, M.R. Tovar, A. Martínez, T. Díaz, H. Baptista, J. Cruz, A.M. Reverón, C. Silva, y N. Alfonzo. 2013. Unificación de criterios para la determinación de la materia orgánica del suelo. Estudio interlaboratorio. *Venezuelas* 21:33-42.
- Avendaño, D.M., M.M. Acosta, A.F. Carrillo, y J.D. Etchevers. 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de Abies religiosa. *Rev. Fitotec. Mex.* 32:233-238.
- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A Primer. A Forest Resources Assessment publication. FAO, Roma, ITA.
- Carrillo, A.F., M.M. Acosta, A.E. Flores, J.E. Juárez, y P.E. Bonilla. 2014. Estimación de biomasa y carbono en dos especies arbóreas en la Sierra Nevada, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5:779-793.
- Castilla, C.E. 2004. Potencial de captura de carbono por la palma de aceite en Colombia. *Palmas* 25(esp.):366-371.
- Concha, J.Y., J.C. Alegre, y V. Pocomucha. 2007. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecol. Applic.* 6:75-82.
- Corley, R.H. V., B.S. Gray, and S.K. Ng. 1971. Productivity of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Malaysia. *Exp. Agric.* 7:129-136. doi:10.1017/S0014479700004907
- De-Jong, B.H., O. Masera, y T. Hernández. 2004. Opciones de captura de carbono en el sector forestal. En: J. Martínez, y B. A. Fernández, editores, Cambio Climático: una visión desde México. SEMARNAT, e INE, MEX. p. 369-380.
- Díaz, F.R., M.M. Acosta, A.F. Carrillo, R.E. Buendía, A.E. Flores, y J.D. Etchevers. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosque* 13:25-34.
- Green House Gas Protocol. 2011. Product life cycle accounting and reporting standard. World Resources Institute, WA, USA. http://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard-EReader_041613_0.pdf (accessed 15 Oct. 2017).
- Henson, I.E. 1993. Carbon assimilation, water use and energy balance of an oil palm plantation assessed using micrometeorological techniques. In: J. Sukaimi et al., editors, Proceedings of PORIM International Palm Oil Congress 'Update and References 100 and Vision' - Agriculture Module. Palm Oil Research Institute of Malaysia, Kuala Lumpur, MAS. p. 137-158.
- Henson, I.E. 1999. Comparative ecophysiology of oil palm and tropical rain forest. In: G. Singh et al., editors, Oil palm and the environment. Malaysian Oil Palm Growers' Council, Kuala Lumpur, MAS. p. 9-39.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2004a. Cartas de edafología. Escala 1:250 000. Chiapas, México. INEGI, MEX <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/cartaedafologica.aspx>. (consultado 24 nov. 2017).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2004b. Guía para la interpretación de cartografía edafología. INEGI, MEX. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825231736>. (consultado 24 nov. 2017).
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. En: H.S. Eggleston et al., editores, Guía. Volumen 4. Agricultura,

- silvicultura y otros usos de la tierra. IGES, Hayama, JPN. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>. (consultado 24 nov. 2017).
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2014. Cambio climático: Informe de síntesis. En: R.K. Pachauri, y L.A. Meyers, editores. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. IPCC, Ginebra, SUI, p.157.
- 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(1):67-77.
- 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.
- Masera, O.R., M.R. Bellón, and G. Segura. 1995. Forest management options for sequestering carbon in Mexico. *Bio. Bioener.* 8:357-367. doi:10.1016/0961-9534(95)00028-3.
- Ng, S.K., S. Thamboo, and P. De-Souza. 1968. Nutrient content on oil palm in Malaysia. II. Nutrient content in vegetative tissues. *Malaysia Agri. J.* 4: 332-391.
- Pacheco, F.C., A. Aldrete, G.A. Gómez, A.M. Fierros, V.M. 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.
- Poh, H.M., W. Killmann, H.H. Wong, and M. Deraman. 1991. Press drying of oil palm trunks. In: K.C. Khoo et al., editors, *Proceedings of the National Seminar of Oil Trunk and Other Palm Wood Utilization*. FAO, Kuala Lumpur, MAS. p. 124-130.
- 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.
- Rees, A.R., and P.B.H. Tinker. 1963. Dry matter production and nutrient content of plantation oil palms in Nigeria. *Plant Soil.* 19:350-363. doi:10.1007/BF01347859.
- Rodríguez, M., R.L. Do, J.A. Dos-Santos, e E. Barcelos. 2000. Carbono e Nitrogênio na biomassa aérea de cultivo do dendê em Latossolo Amarelo na. Em: Embrapa Amazônia Ocidental, editores, *Resumo do III Congresso brasileiro de sistemas agroflorestais: Manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural*. Software Graphic Ltda., Manaus, Amazônia, BRA. p. 82-84.
- Schlesinger, W.H. 1997. *Biogeochemistry: an analysis of global change*. Academic Press, San Diego, CA, USA.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Estadística de la producción agrícola. SIAP, MEX. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119> (Consultado 24 nov. 2016).
- Thinkabail, P.S., N. Stucky, B.W. Griscom, A.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. doi:10.1080/01431160412331291279.
- Tiong, G.L., L.G. Tong, Y.T. Ngan, and H.C. Yee. 1991. Yield and utilization of oil palm trunk limber. In: K.C. Khoo et al., editors, *Proceedings of the National Seminar of Oil Trunk and Other Palm Wood Utilization*. FAO, Kuala Lumpur, MAS. p. 131-144.
- Torres, J.M., y A. Guevara. 2002. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecol.* 1:40-59.
- Walkley, A., and A. Black. 1934. An examination of the Degtjereff method for determination soil organic matter, and a proposed codification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.*37:29-38. doi:10.1097/00010694-193401000-00003